

⑫ 公開特許公報 (A) 昭61-164109

⑬ Int.CI.⁴G 01 C 19/56
G 01 P 9/02

識別記号

厅内整理番号

6723-2F
7027-2F

⑭ 公開 昭和61年(1986)7月24日

審査請求 未請求 発明の数 2 (全8頁)

⑮ 発明の名称 振動式角速度計

⑯ 特願 昭60-5592

⑰ 出願 昭60(1985)1月16日

⑱ 発明者 植田 敏嗣 武藏野市中町2丁目9番32号 横河北辰電機株式会社内
 ⑲ 発明者 幸坂 扶佐夫 武藏野市中町2丁目9番32号 横河北辰電機株式会社内
 ⑳ 発明者 東野 博文 武藏野市中町2丁目9番32号 横河北辰電機株式会社内
 ㉑ 出願人 横河北辰電機株式会社 武藏野市中町2丁目9番32号
 ㉒ 代理人 弁理士 小沢 信助

明細書

1. 発明の名称

振動式角速度計

2. 発許請求の範囲

① 首振り運動する質量部材及び該質量部材を弾性的に支持する支持部を備えた振動子と、該振動子の前記支持部を固定する筐体と、前記振動子の前記質量部材を首振り運動をさせるための助振手段と、前記首振り運動にかかる振動数を検出する振動数検出手段と、前記振動子を首振り運動させる自動振回路と、前記振動子の振動数の変化に応じて前記振動子に加わる角速度の大きさと方向を計算する演算部とよりなる振動式角速度計。

② 首振り運動する質量部材及び該質量部材を弾性的に支持する支持部を備えた複数の振動子と、該振動子の前記支持部を固定する筐体と、前記振動子の少なくとも一方を首振り運動させ、他方の振動子を反対方向に首振り運動させるか、又は直線状の往復運動をさせる助振手段と、前記振動子を首振り運動させる自動振回路と、前記振動子の振

動数の差をとることにより前記振動子に加わる角速度の大きさと方向を計算する演算部とよりなる振動式角速度計。

3. 発明の詳細を説明

(産業上の利用分野)

本発明は航空機等の移動体の姿勢部御信号を得るのに用いられる振動式角速度計に関する。

(従来例)

コリオリ力を利用した振動式角速度計は、 Ω が高くとれて駆動エネルギーを小さく出来ること、及び検出感度を高く出来ること等から、音叉型にする場合が多い。

第8図は例えば特公昭35-3692号等で公知の音叉型振動式角速度計の構造を示す。1a, 1bは角速度の入力軸 α に対向した一対のフォークであり、2a, 2bはこれらフォークに接着された圧電素子で、外部の交換感動電極より駆動され、フォーク1a, 1bを軸 α に対し接近又は離反する θ で示す振動、即ち面内振動を与える。

この振動の周波数はフォーク1a, 1bの固有振動

数に一致させて共振させ、小さい駆動エネルギーで大きな振幅を発生させる。

図2は共振入力が与えられると、A, B又はA', B'で示すごとくの方向とは直角方向に、駆動周波数と等しく、振動が0に比例したコリオリ力即ちねじりトルクが発生する。3はこのねじりトルクを検出するシャフトであり、一端が音叉の底部に対し振動の吸収材4を介して結合しており、仙端がベース部材5に固定されている。3はトルク伝達レバーで、ベース部材に設けた柱6に接着されている圧電素子6に振動するねじりトルクを与える電気信号に変換して外部に取出す。

ここでシャフト3、ベース部材5を含む部分のねじりの一次モードの固有振動数は、音叉の上記面内振動の一次モードの固有振動数に等しく選定され、共振により微弱なコリオリ力の振動を増幅して取出す構成となっている。

(発明が解決しようとする問題点)

しかしながらこのように、駆動部分の固有振動数と検出部分の固有振動数を等しくした場合には、

駆動部の振動が検出部に影響を与え、微弱なコリオリ力によるトルクを検出することが困難となるので、ねじりトルクのみを伝達し、駆動側の振動エネルギーを吸収する吸収材4が必要となり、全体の構造が複雑となる。

また圧電素子により微弱なコリオリ力を検出するので零点の安定性・感度の変動等の問題点がある。

本発明は上記従来技術の問題点に鑑みて成されたもので、固有振動数の変化により角速度を検出することに関する新規な構成により、小型かつ高精度の角速度計を実現することを目的とする。

(問題点を解決する手段)

このような目的を達成する第一の発明は、首振り運動する質量部材及び該質量部材を弾性的に支持する支持部を備えた振動子と、該振動子の前記支持部を固定する筐体と、前記振動子の前記質量部材を首振り運動をさせるための助振手段と、前記首振り運動にかかる振動数を検出する振動数検出手段と、前記振動子を首振り運動させる自動振回

(3)

と、前記振動子の振動数の変化に応じて前記振動子に加わる角速度の大きさと方向を計算する演算部とよりなるものである。

このような目的を達成する第二の発明は、首振り運動する質量部材及び該質量部材を弾性的に支持する支持部を備えた複数の振動子と、該振動子の前記支持部を固定する筐体と、前記振動子の少なくとも一方を首振り運動させ、他方の振動子を反対方向に首振り運動させるか、又は直線状の曲げ振動をさせる助振手段と、前記振動子を首振り運動させる自動振回路と、前記振動子の振動数の差をとることにより前記振動子に加わる角速度の大きさと方向を計算する演算部とよりなるものである。

(実施例)

以下図面により第1の発明を説明する。

第1図は本発明の一実施例を示す振動子構成概図で、(1)は振動子本体、(2)は演算部を除く全体図で一部を切断して示してある。

振動子20は、首振り運動する質量部材21と、質

(4)

量部材21を支持する支持部22により構成され、振動子20を固定する筐体23を備えている。振動子20を構成する材料として、振動子の曲げ固有振動数の温度依存性を低減させるために、恒弹性材料が使用されている。質量部材21は円筒形であり、支持部23は断面円形の棒状であって、これらは片持ちはりを構成している。片持ちはりの第1次の曲げ固有振動数 ω_1 は、

$$\omega_1 = \left(\frac{1.8751}{4} \right) \sqrt{\frac{EIg}{\gamma A}} \quad (1)$$

で与えられる。ここで、 l は支持部22の長さ、 I ははりの断面二次モーメント、 A ははりの断面積、 g は重力加速度、 γ ははり材料の単位体積当たり質量、 E ははり材料の継弾性係数である。質量部材21は振動子20の曲げ固有振動数 ω_1 を低下させる。曲げ固有振動数 ω_1 が低いと振動子20の首振り運動の振動数が低くなり、角速度に応じる首振り運動の振動数変化を検出するうえで有利である。

この振動子の曲げ固有振動のモードは、低い振動数で固有振動をする部分B-B*方向と、高い振動

(5)

-46-

(6)

数で固有振動をする総分 C-C* 方向の 3 つの独立なモードがある。しかし、振動式角速度計ではこの 3 つのモードの固有振動数を一致するよう調整して用いている。

電極支持体 31 は、中央に貫通穴が設けてあり、この貫通穴内に質量部材 21 がわずかの空間を隔てて配置されるようになっている。電極支持体 31 はガラス、セラミックなどの絶縁材で通常構成され、電極 34a, 34b, 35a, 35b がスパッタ、メッキ等により形成されている。スペーサ 32 は筐体 23 と電極支持体 31 の間に介在し、電極支持体の貫通穴の質量部材 21 と対向する対向面 33 の位置を調整する。電極支持体 31 には 4 個の電極が形成されているが、第 1 図(b)では検出電極 35b を除いて表わしている。電極は駆動電極 34a, 34b 2 個と検出電極 35a, 35b 2 個がこの順序で形成され、振動子 20 の 3 つの固有モードを検出できるよう構成されている。4 つの電極の形状は、質量部材 21 と対向する対向面 33 と、図示しない励振回路及び検出回路と接続するための外円筒面 36 に設けた端子を接続するよう

になっている。この端子は、たとえばハーメテック端子を含んで構成されている。

第 2 図は、励振手段と振動数検出手段の構成を示すブロック図である。振動数検出手段と励振手段と振動子とで、自動振回路を構成している。

検出電極 35a, 35b と質量部材 21 とは静電容量を構成している。そこで容量検出回路 36 により、質量 21 の振動を容量変化として取り出す。この容量検出回路 36 は、たとえばブリッジ回路を含んで構成されている。フィルタ 37 は、容量検出回路 36 からの信号から振動子 20 の第 1 次の曲げ固有振動数に相当する振動数のみを抽出している。位相器 38 は質量 21 の振動と駆動電極 34a に供給する自動利得制御増幅回路(以下 AGC 回路と称する) 39 との位相差を定める。この位相差は、回転の形状と角速度に対する回転振動数変化の感度を定める。

AGC 回路 39 は基準電圧供給装置 42 で定められた一定の電圧 E_0 で発振する。AGC 回路 39 の交流電圧は整流器 40 通り直流電圧 E_V に変換され、積分器 41 で直流電圧 E_V との比較をして、直流電圧 E_V が小

(7)

きければ AGC 回路 39 の発振は大きくなり、直流電圧 E_V が大きくなれば AGC 回路 39 の発振は小さくなつて、結果 AGC 回路 39 の発振の振幅は一定に保つことができる。

AGC 回路 39 の交流電圧は、直流駆動 44 からの直流電圧 E_D と重合わされて駆動電極 34a に供給される。直流電圧 E_D は、たとえば交流電圧と重合わせたとき逆の電圧領域でのみ変化するよう定められている。他方の駆動電極 34b には、多相器 43 で概ね 90 度位相を偏移させて、直流駆動 44 の直流電圧を加えた交流電圧が供給されている。90 度の位相偏移が進んでいるか遅れているかによって、振動子 20 の首振り運動が時計回り(以下 CW という)となるか、反時計回り(以下 CCW という)となるかを定める。

一方 AGC 回路 39 の交流電圧は、振動子 20 に加わる角速度の大きさと方向を計算する演算部を構成する位相差検出回路 46 にも送られる。振動子 20 の角速度 ω が零の場合の首振り運動の振動数に対する振動数 ω_0 で、角速度 ω によらず一定の振動

(8)

数を発生する基準振動子やシンセサイザなどの基準振動数発生手段 45 の信号と、AGC 回路 39 の信号との位相差を位相差検出回路 46 は検出する。この位相出力は 360° ごとに不連続が生じ、また振動子の感度は以下に詳述する理論感度 I とはならない。これらの補正をして回転角 θ や角速度 ω を表示する計算機 47 を設けてある。

このように構成された装置の動作原理を次に説明する。第 3 図は、振動子 20 を単純化したモデル図である。振動子 20 はいずれの方向の曲げ固有振動数も同一になるよう調整されているので、第 3 図に示すようにばね定数 K 、質量 M 、回転振動数は振動子 20 の曲げ固有振動数 ω_0 と同一の振動数で運動している系で記述できる。ここで回転の形状が円運動であるとすれば、質量 M は中心を点とする半径 r の円軌道上を動く。このとき、遠心力とばねによる重心力とは釣合うので、 $Mr\omega^2 = Fr$ が成立する。ここに回転の角振動数 ω は振動子の曲げ固有振動数と一致して、

(9)

-47-

(10)

$$\omega_0 = \sqrt{E/M}$$

(3)

で与えられる。

次に第3図で示した系に、点Oを過る質量Mの円軌道と直角をなす軸まわりに角速度Ωが作用している場合を考える。角速度Ωで回転する系で慣用する質量Mの角速度ωと、質量Mの移動速度vと、重心力との約合いをとると、

$$rv = Mr\omega^2 + Mr\Omega^2 + 2Mv\Omega \quad (4)$$

が成り立つ。ここで、

$$v = r\omega$$

に注意して、式(3)と式(4)を比較すると、

$$Mr\omega_0^2 = Mr(\omega + \Omega)^2 \quad (5)$$

又は、

$$\Omega = \omega_0 - \omega \quad (6)$$

をえる。

従って、 ω_0 と同一の振動数を基準として回転振動数Ωとの偏差を観測すれば、振動子20に作用する角速度Ωが判明する。ここでの回転は、振動子20の首振り運動に対応するものである。

まだ積分ジャイロとしての動作は、式(6)を時間

(11)

質量Mの回転軌道が完全な円形でなく、また振動子の3つの曲げ固有モードの固有振動数が完全に一致してはいないためである。

第5図は、本発明の他の実施例を示す構成斜視図で、ここでは振動子単体を示してある。

質量部材21は、一直線上に配置された支持部22a, 22bを介して筐体23に固定されている。質量部材21は他の大きい円筒型で、支持部22a, 22bは他の小さな円柱型で構成されており、両者の中心線は一致している。筐体23は支持部22a, 22bを固定する固定部23a, 23bと、固定部23a, 23bを支持する筐体23c, 23dとを備えている。筐体23c, 23dは支持部22a, 22bの断面積よりも十分大きく構成されているので剛性も大きい。

このように構成された筐體の動作を次に説明する。第1図(a)に示す振動子では、振動子20の姿勢により支持部に作用する質量部材21の重さが変化するので、支持部の軸力が変化し振動子の曲げ固有振動数が変化する欠点があった。(この原因による固有振動数の変化は、たとえば1 ppm以下で

について積分することで容易に得られる。すなわち振動子20の回転角をθとすれば、

$$\begin{aligned} \theta &= \int^t \Omega(t) dt \\ &= \int^t (\omega_0 - \omega) dt \end{aligned} \quad (7)$$

となる。すなわち、位相差検出回路46に基準振動数発生手段45の基準振動数 ω_0 と回転振動数 ω を入れて偏差を検出すると、角速度Ωが零なるときに位相差検出回路46の指示値は一定で変化しないが、角速度Ωが作用すると自は指示値が変化して回転角θに対応する分だけ位相が変化する。

第4図は、上記実施例で説明した振動式角速度計で角速度を測定した測定例である。縦軸は位相差検出回路46で表示された位相差(単位は度)であり、横軸は時間軸である。振動子20の首振り振動の振動数は348.881 [Hz]なので、基準振動数 ω_0 も348.881 [Hz]になっている。振動子20の回転角 θ は30±3度毎に加えられ、その角速度は5 [度/秒]である。そのと自位相差出力は、回転角 θ の0.98倍になっている。

感度が式(6)に示すようにならぬのは、

(12)

あるが、振動式角速度計では、固有振動数約350 [Hz]に対し検出すべき角速度の下限は0.01 [度/秒]なので、振動数は0.08 ppmの安定性が必要とされる。)

第5図に係る振動子では、質量21を2個の支持部22a, 22bを用いて支持しているので、振動子の姿勢により支持部22a, 22bに作用する軸力が変化することなく、振動子の曲げ固有振動数は変化しない。

また支持部22a, 22bを細い線状にして、張力を加えたまま質量部材21を支持するよう構成してもよい。支持部22a, 22bに作用する張力が振動子の姿勢によらず一定とすることができるることは、第5図の振動子と変わることろがきい。

尚第1の発明は上記実施例に限定するものではなく、首振り運動の軌道の形状は円形の場合を示したが橈円形でもよい。また振動子の3つの曲げ固有振動数は完全に一致したものと示したが、該振動子の曲げ固有振動数Ωの1/2(Ωは振動子の曲率の値を表す量)を40として、3つの曲げ固

(13)

-48-

(14)

有振動数の差が ω_0 の数倍以内でもよい。振動子の2つの曲げ固有振動数は完全に一致しなくとも、振動子は充分を振幅で共振^{して}運動するからである。

また励振手段も実施例では誘電駆動としたが、振動子に磁性体を用いて電磁駆動をしてもよく、また圧電性物質を振動子に付着させて振動子を励振してもよい。

また周波数検出手段として実施例では静電容量の変化により振動子の振動を検出したが、振動子に磁性体を用いてインダクタンスを用いてもよく、また他の変位検出手段を採用してもよい。また、振動子の支持部に生じる応力を検出して、振動子の回動を検出してもよい。

また演算部では、回動振動数の変化を検出するため角速度零の場合と同一の基準振動数を利用しているが、高い安定度で高い周波数の基準クロックを用いて回動振動数の変化を検出してもよい。

第6図、第7図は、第3の発明の実施例を示す構成斜視図で、ここでは振動子単体を示してある。第6図では、筐体23に第1図(a)に係る振動子が

直線 z 上に3個設けられて構成されている。一方の質量部材21aはCWに回動し、他方の質量部材21bはCCWに回動している。

第7図では、筐体23に第1図(b)に係る振動子が平行な直線 z_1 、 z_2 を中心として3個設けてあり、一方の質量部材21aはCWに回動し、他方の質量部材21bはCCWに回動している。

とのように構成された装置の動作原理を次に説明する。角速度 Ω をCWとすると式(6)は、一方が

$$\Omega_{CW} = \omega_{CW} - \omega_{CCW} \quad (6)$$

で表わされ、他方の振動子は、

$$\Omega_{CCW} = -(\omega_{CCW} - \omega_{CW}) \quad (7)$$

で表わされる。従って、これらを運動的に使用すれば振動子の角速度 Ω に対する回動振動数の変化、すなわち感度は2倍になるとともに、姿勢誤差や温度変化に起因する曲げ固有振動数 ω_0 の変化は有効に消去される。

尚、第6図、第7図にかかる振動子の一方を直線状の曲げ振動をさせて基準振動数 ω_0 を得るとともに、他方の振動子に回動運動させて角速度 Ω を検出するよう構成してもよい。

(15)

(発明の効果)

以上述べたように第1の発明では、次の特徴がある。まず筐体と支持部と質量とを一体構成とすることで振動子の構造は単純化される。また出力が振動数なので、ディジタル処理が容易であり、電子計算機との結合が容易である。

第2の発明では、姿勢誤差や温度変化に起因する曲げ固有振動数の変化を有効に除去できるので、精度の高い振動式角速度計が実現できる。

4. 図面の簡単な説明

第1図は第一の発明の一実施例を示す要部構成斜視図で、(a)は振動子単体、(b)は演算部を除く全体図、第2図は励振手段と振動数検出手段の構成を示すブロック図、第3図は動作原理を説明するモデル図、第4図は角速度測定例、第5図は第一の発明の他の実施例、第6図、第7図は第二の発明の実施例を示す構成斜視図、第8図は従来装置の構成図である。

20…振動子、21…質量、22…支持部、23…筐体、24…電極支持体、34a, 34b…駆動電極、36a…検

(16)

出電極、36…容量検出回路、46…基準振動数、48…位相差検出回路。

代理人弁理士 小沢信助

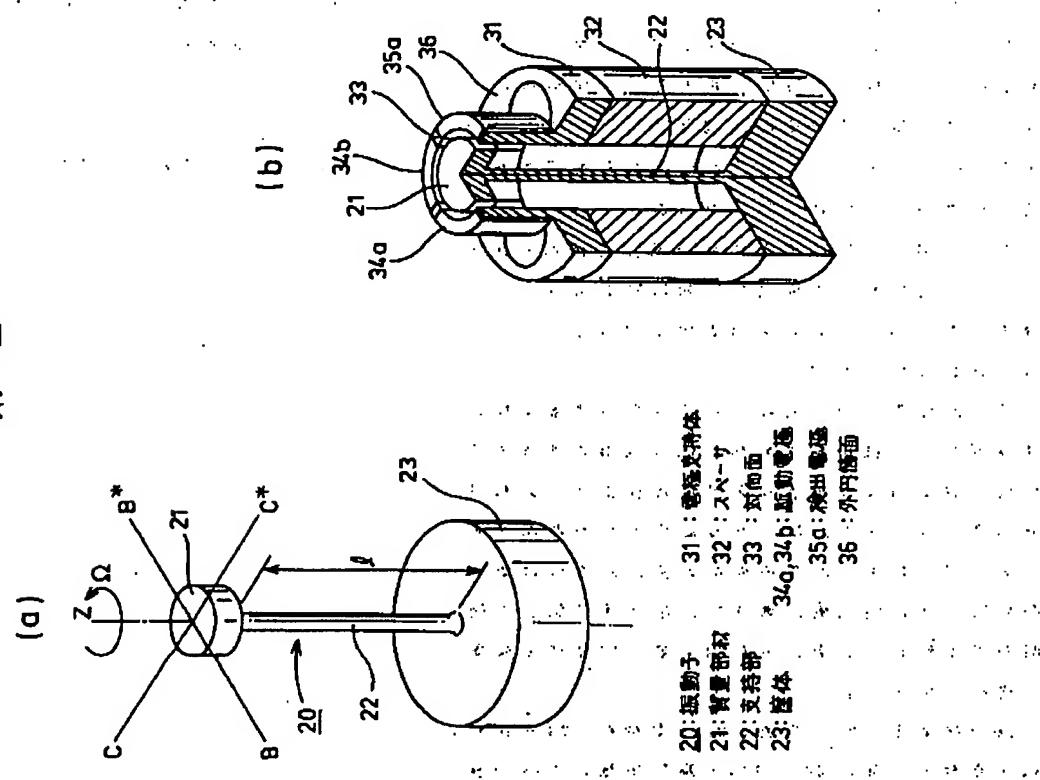


(17)

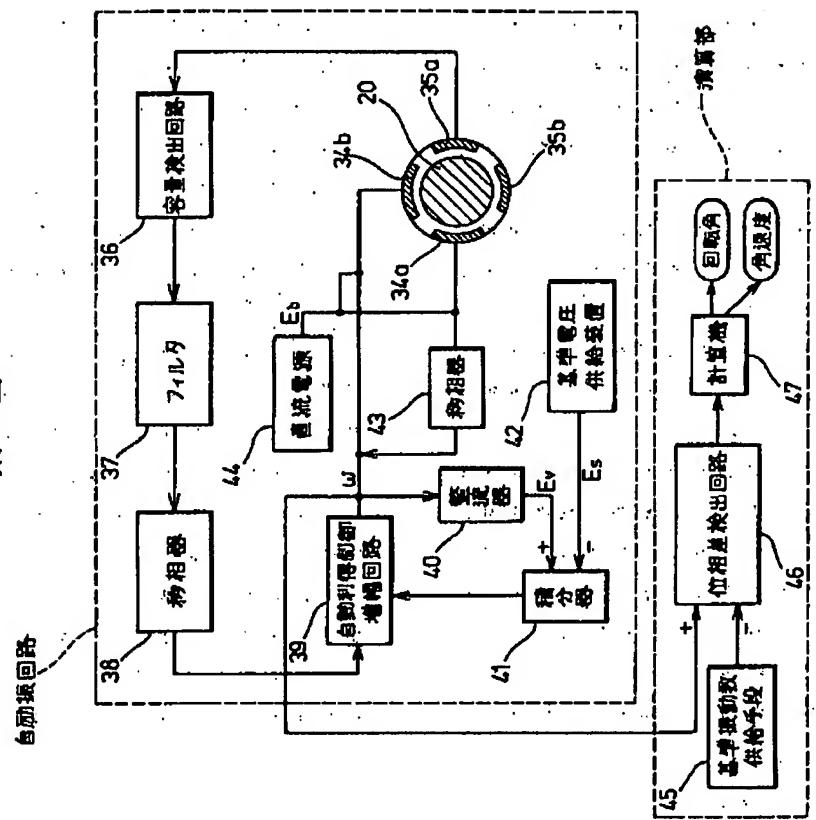
-49-

(18)

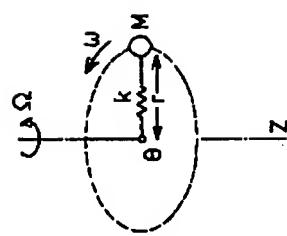
第1図



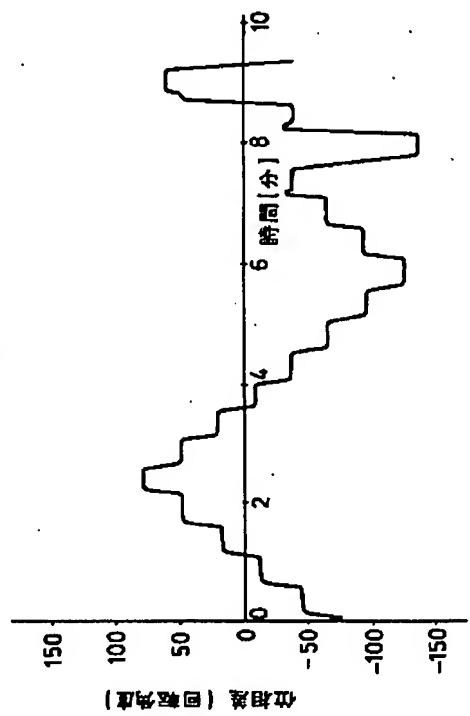
第2図



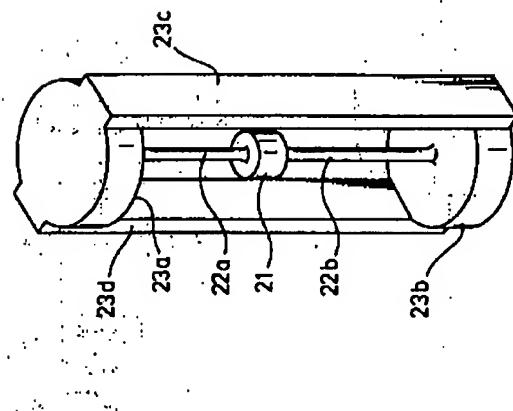
第3図



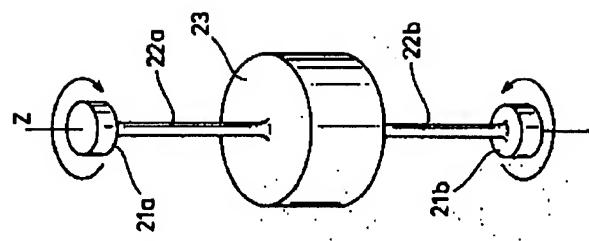
第4図



第5図

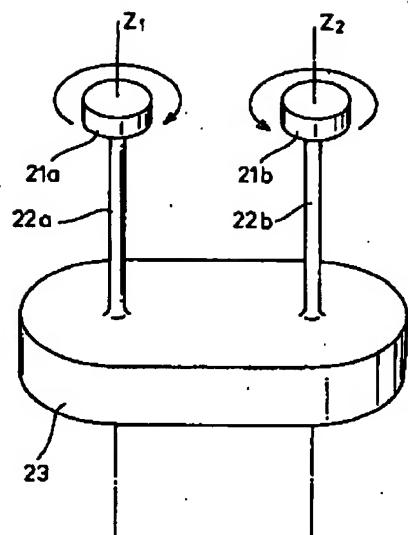


第6図

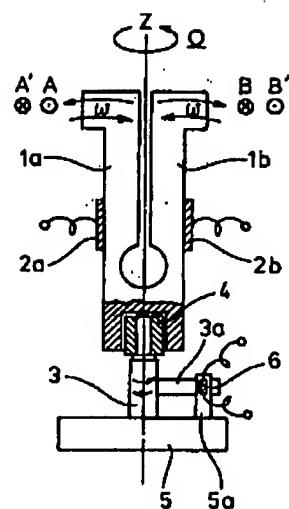


21:質量部材
22a:支持軸
22b:支持軸
23:筐体
23a,23b:固定軸
23c,23d:筐体

第7図



第8図



CONSTITUTION: The intrinsic mode of a vibrator 20 is detected by means of driving electrodes 34a and 34b and detecting electrodes 35a and 35b and the driving electrodes 35a and 35b and a mass member constitute an electrostatic capacity. A filter 37 extracts the characteristic-frequency of the vibrator 20. When a phase meter 38 determines the phase difference between the vibrator 20 and the mass and the output of an AGC circuit 39, the AGC circuit 39 transmits a constant voltage Es. The AC voltage Es of the AGC circuit 39 is supplied to the electrode 34a and the DC voltage of a DC power source 44 is supplied to the electrode 34b. The AC voltage Es of the AGC circuit 39 is also sent to a phase electrode 34b. The AC voltage Es of the AGC circuit 39 is supplied to the electrode 34a and the DC voltage of a DC power source 44 is supplied to the electrode 34b. The AC voltage Es of the AGC circuit 39 is supplied to the electrode 34a and the DC voltage of a DC power source 44 is supplied to the electrode 34b. Then a computer 47 corrects the values, and thus, rotational angles and angular velocities are obtained.

PURPOSE: To highly accurately measure angular velocities through the change in constitution, by detecting the angular velocities through the change in characteristic-frequency.

ABSTRACT:

US-CL-CURRENT: 73/504.15

INT-CL (IPC): G01C019/56, G01P009/02

APPL-DATE: January 16, 1985

APPL-NO: JP60005592

ASSIGNEE-INFO: NAME: YOKOGAWA ELECTRIC CORP
COUNTRY: N/A
ASSIGNEE-INFO: NAME: YOKOGAWA ELECTRIC CORP
COUNTRY: N/A

INVENTOR-INFO: NAME: UEDA, TOSHI TSUGU
NAME: KOSAKA, FUSAO
NAME: TONO, HIROBUMI
INVENTOR-INFO: NAME: UEDA, TOSHI TSUGU
NAME: KOSAKA, FUSAO
NAME: TONO, HIROBUMI

PUBN-DATE: July 24, 1986

TITLE: VIBRATION TYPE ANGULAR VELOCITY METER

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 61164109 A

PAT-NO: JP361164109A

